8H

УДК 004.942

***Ю.И. Нечаев*[1], *О.Н. Петров*[2]**
[1]Институт высокопроизводительных вычислений и информационных систем,
[2]Государственный морской технический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

# Принципы построения бортовой интеллектуальной системы контроля поведения судна на волнении как нестационарного динамического объекта

Рассматривается подход к построению интеллектуальной системы контроля динамики нестационарного объекта. Синтез системы осуществлен на основе принципов организации сложных систем. Алгоритм контроля ситуации и выработки управляющих решений построен с использованием структурированной базы знаний и методов математического моделирования в мультипроцессорной вычислительной среде.

## Введение

Нестационарные системы – достаточно распространенный класс динамических систем, изучению которых посвящена обширная литература в различных областях научно-технических приложений [1-13]. Изучение поведения нестационарных систем представляет большой научный и практический интерес при контроле динамики сложных объектов, особенно объектов, функционирующих в условиях неопределенности и неполноты исходной информации. Учет нестационарности исследуемых процессов значительно осложняет задачу анализа и интерпретации информации при непрерывном изменении динамики объекта и внешней среды. Особенность контроля динамики многих физических систем связана также с учетом нелинейности процессов взаимодействия ДО с внешней средой. Это требует разработки и обоснования методов, моделей и алгоритмов, обеспечивающих контроль ситуации и выработку практических рекомендаций в режиме реального времени.

В настоящей работе развивается подход к синтезу интеллектуальной системы (ИС) контроля динамики нестационарного объекта. Синтез осуществлен в рамках принципов обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде [8]. Эффективность процедур обработки информации и принятия решений достигается на основе динамической базы знаний, построенной с использованием принципа адаптивного резонанса. В системе находят широкое применение встроенные процедуры, реализующие интеллектуальную поддержку оператора ИС. Эти процедуры построены с учетом достижений прикладной математики, нечетких и нейросетевых технологий.

## 1. Постановка задачи

При реализации классического подхода к описанию задачи рассмотрим нелинейный нестационарный динамический объект, поведение которого описывается следующей математической моделью [6]:

$$x = f(t,x,u),\ y = g(t,x), \qquad (1)$$

где $x\in R^n$, $(y,u)\in R^1$, $t\in[0,\infty)$, $f$ и $g$ – однозначные непрерывно дифференцируемые функции.

Матрицы частных производных имеют полные ранги, а зависимость правой части (1) от $t$ отражает действие возмущений. Цель функционирования состоит в организации свойства системы

$$\lim y(t) = v,\;\; t\to\infty. \tag{2}$$

Динамика процесса $y(t)\to v$ должна отвечать требованию по быстродействию и демпфированию. В соответствии с этими требованиями конструируется эталонное (заданное) дифференциальное уравнение для значения $y$, которому нужно подчинить движение объекта.

Задачей синтеза является отыскание такого закона управления, чтобы замкнутая система

$$x' = F(t,x,u(\bullet)),\;\; y = g(t,x) \tag{3}$$

отвечала требованиям к статике и динамике, которые можно выразить эталонным дифференциальным уравнением

$$y^{(l)} = F\left(y, y',\ldots, y^{(l-1)}, v\right), \tag{4}$$

где для $y$ задается уравнение $l$-го порядка функцией $F$, v – задание для выхода. Уравнение (4) должно быть реализовано вдоль траекторий движения динамического объекта (1).

Для определения значения $l$ рассмотрим первую производную выходной величины вдоль траекторий движения объекта:

$$y' = G_t(t,x) + G_x(t,x)\cdot f(t,x,u), G_t = \partial g(t,x)/\partial x, G_x = \partial g(t,x)/\partial x^T. \tag{5}$$

Предполагая значение $y$ независимым от управления $u$ и обозначая $y = gl(t,x)$, повторим дифференцирование по времени $t$ и на $l$-м шаге получаем явную зависимость от $u$:

$$y^l = \varphi(t,x,u), \varphi = G_t^{l-1}(t,x) + G_x^{l-1}(t,x)\cdot f(t,x,u). \tag{6}$$

Условие разрешимости задачи управления определяет свойство

$$\partial\varphi(t,x,u)/\partial u \neq 0. \tag{7}$$

Движение, задаваемое уравнением (4), реализуемо, если для любого $(t,x,v)$ найдется значение управляющего воздействия $u$, которое обеспечит равенство:

$$F\left(y, y',\ldots, y^{l-1}, v\right) = \varphi(t,x,u). \tag{8}$$

Для существования и единственности решения этого уравнения относительно $u$ достаточно условия (6), однако при неполной информации о правой части уравнения (1) не удается построить управление как явную функцию остальных переменных. Следовательно, необходимо построить алгоритм управления, который позволяет как угодно точно приблизиться к решению уравнения (7).

# 2. Принципы функционирования и архитектура системы

Рассматриваемая интегрированная ИС сочетает строгие формальные методы анализа и интерпретации информации при решении задач динамики корабля на волнении с эвристическими методами и моделями, базирующимися на достижениях современной гидродинамики, знаниях экспертов, имитационных моделях, накопленном опыте. Система включает ряд взаимодействующих между собой модулей, выполняющих опре-

деленные функции в соответствии с общей стратегией функционирования. Помимо традиционных для систем интеллектуальной поддержки модулей система содержит модули имитации, анализа и прогноза проблемной ситуации (моделирования), организации различных видов интерфейса.

Анализ задач, решаемых в рамках интегрированной ИС, позволяет выделить ряд особенностей:

– сложность алгоритмов и большое количество исходных данных с существенно различной структурой;

– жесткие требования к производительности вычислительной системы, необходимость вычислений в режиме реального времени;

– операции с множеством разнообразных по своим свойствам объектов (характеристики судна и ветро-волновых режимов) и отношений между ними.

При реализации этих задач адаптивный синтез и распараллеливание компьютерных программ осуществляется путем систематического выполнения трансформаций программ, представленных схемными правилами. Однако многие распараллеливающие преобразования удобнее задать в процедурном виде. Представленные в виде правил трансформации знания (схемные правила) о методах распараллеливания программ можно накапливать и использовать с помощью подсистемы организации данных интегрированной ИС. Исходные данные о текущей ситуации при функционировании ИС получают путем преобразования информации, получаемой от датчиков измерительного комплекса (рис. 1).

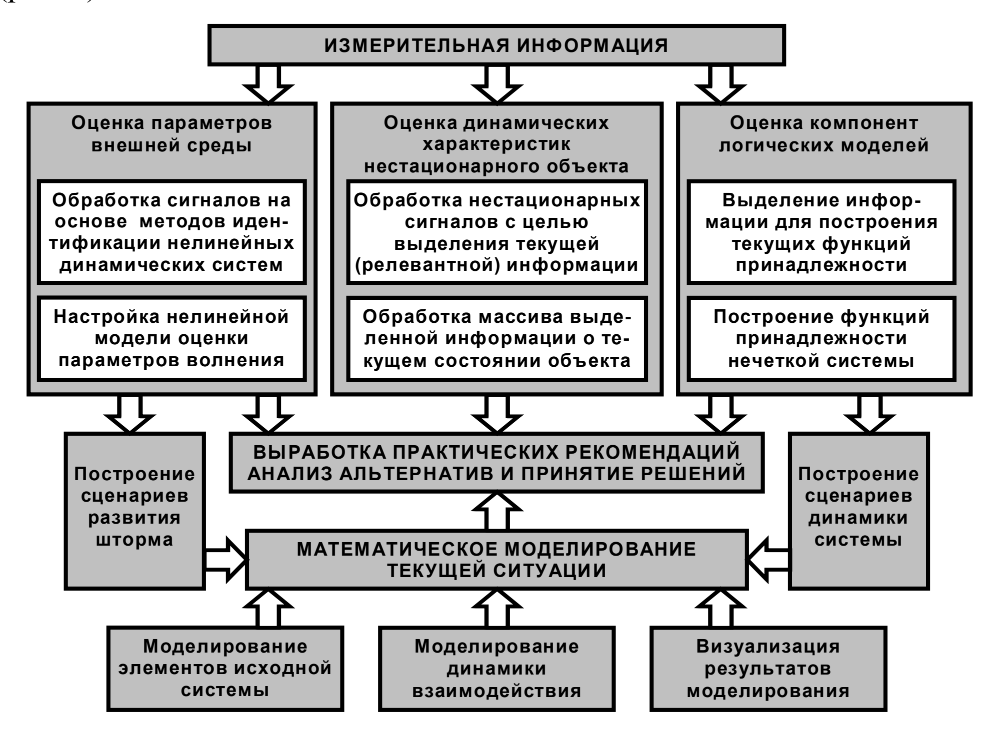



Рисунок 1 – Общие принципы использования алгоритмов обработки измерительной информации при оценке динамики внешней среды, параметров объекта, моделировании и визуализации текущей ситуации

Обработка этой информации реализуется в режиме реального времени и позволяет «настроить» ИС на решение задач интерпретации текущей ситуации. Алгоритмы анализа и прогноза ситуации базируются на изобретениях Ю.И. Нечаева, позволяю-

щих восстанавливать текущие характеристики волнения и параметры судна как сложного динамического объекта (метацентрическую высоту и аппликату центра тяжести), а также построить фактические значения функций принадлежности, определяющие логику функционирования динамической базы знаний (оценку опасности ситуации и прогноз ее развития) на основе фактических данных о состоянии внешней среды и динамического объекта.

# 3. Концептуальный базис реализации интегрированной системы

Интегрированную ИС можно рассматривать как вычислительную среду нового поколения. Главной особенностью такой среды является реализация в ней базовых принципов и процедур, обеспечивающих эффективное решение сложных задач динамики судна, как нелинейного нестационарного объекта в режиме реального времени. Усложнение алгоритмов обработки информации в ИС приводит к необходимости широкого использования современных высокопроизводительных методов и средств при поиске новых эффективных вычислительных процедур и их параллельной реализации (рис. 2) [3].

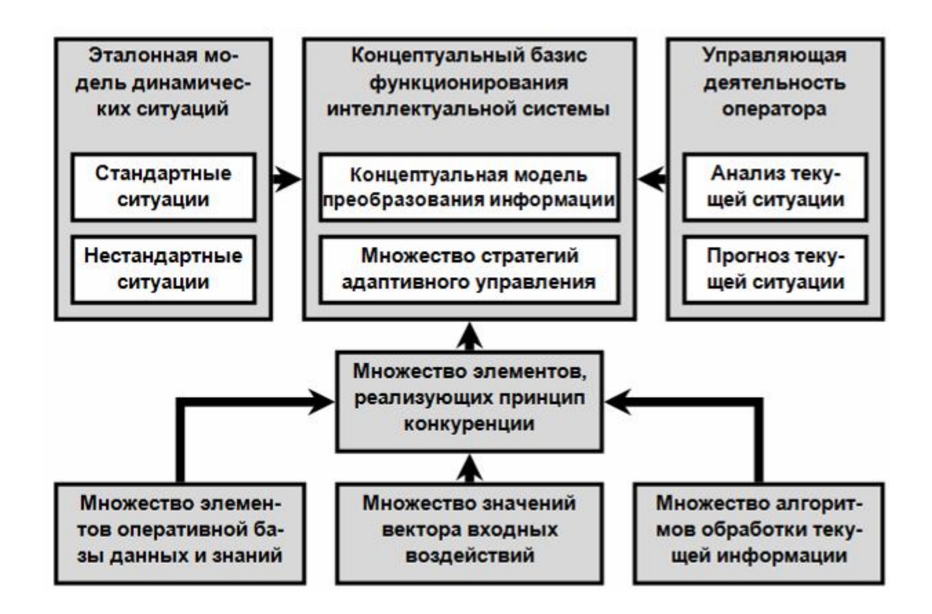



Рисунок 2 – Концепция и принципы обработки информации в интегрированной ИС

Концепция ИС сформулирована как обобщение и развитие традиционных моделей обработки информации, использующих высокопроизводительные средства вычислений [9]. Концептуальная модель предусматривает использование интегрированной системы не только для решения сложных задач моделирования поведения ДО на волнении, но и для обеспечения функционирования вычислительных комплексов (бортовой тренажер, виртуальный полигон и др.).

При разработке концептуальной модели сформулированы принципы построения и особенности применения интегрированных ИС при решении сложных задач анализа и интерпретации информации в сложных динамических средах. Среди этих принципов следует выделить адаптивность, многопроцессорность и максимальное быстродействие,

открытость, непрерывность функционирования и живучесть. Интегрированная ИС обладает возможностью эволюционного наращивания в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды.

Повышение достоверности оценки и прогноза ситуаций в сложных задачах динамики судна на основе ИС достигается с использованием нового подхода к обработке информации, основанного на развитии концепции «мягких вычислений» [13]. Этот подход предусматривает использование теоретических принципов, позволяющих рационально организовать вычислительную технологию обработки данных, а также формализовать поток информации в мультипроцессорной вычислительной среде [8]. Реализация этих принципов дает возможность повысить эффективность функционирования ИС при непрерывном изменении динамики объекта и внешней среды. Проверка корректности алгоритмов управления и принятия решений осуществляется на основе общих требований к алгоритмическому обеспечению системы. Применительно к параллельным алгоритмам логического управления понятие корректности связано со специфическими свойствами таких алгоритмов: непротиворечивостью, устойчивостью и самосогласованностью [9].

Таким образом, интегрированная ИС представляет собой сложный многопроцессорный вычислительный комплекс, который можно рассматривать как самоорганизующееся динамическое информационное пространство унифицированного представления данных и знаний о динамике судна на волнении.

При формальном описании вычислительного пространства в интегрированной ИС разрабатываются методы формирования альтернативных алгоритмов, с помощью которых реализуются принципы обработки информации в мультипроцессорной среде. При этом используются различные подходы к решению задач динамики корабля – на основе методов классической математики (стандартные алгоритмы), нечетких и нейросетевых моделей [10]. Указанные методы образуют множество эквивалентных (функционально близких) алгоритмов. Повышение эффективности алгоритмов с одинаковым функциональным назначением достигается путем их адаптации к исходным данным. Выбор предпочтительной вычислительной технологии осуществляется путем анализа альтернатив [8-10].

## 4. Выбор моделей динамики судна на волнении на основе интегрированной ИС

В процессе функционирования интегрированной ИС рассматриваются и сравниваются различные подходы к решению задач динамики корабля на волнении, выбору исходных данных, математических моделей и алгоритмов их реализации. Сравнение полученных результатов и выбор оптимального решения достигается с учетом показателей осуществимости решения сложных задач в распределенных вычислительных средах. Разработанный подход к адаптации алгоритмов в интегрированной SD-системе позволяет реализовать методы формирования альтернативных алгоритмов на основе показателей степени превосходства. Алгоритмы, реализующие различные методы решения одной задачи в такой системе, образуют некоторое множество функционально эквивалентных алгоритмов.

Организация информационной среды анализа и интерпретации задач динамики судна на волнении обеспечивает интеллектуальную поддержку принятия решений. Задачи и средства моделирования, составляющие информационную среду интеллектуальной поддержки [8], [9], представлены на рис. 3.




Рисунок 3 – Информационная среда интеллектуальной поддержки оператора интегрированной ИС: A – методы численного анализа; B – метод фазовой плоскости; C – теория графов; D – формальные математические модели и моделирование в нечеткой среде; E – нейросетевое моделирование; F – когнитивное моделирование; G – визуализация результатов моделирования

Иерархическая модель, объединяющая функциональные модули прикладных программ обработки информации при решении задач динамики корабля на волнении, позволяет описывать интегрированную ИС на различных уровнях абстракции: детальности отражения элементов, свойств, характеристик. Декомпозиционная модель интегрированной ИС представляется совокупностью моделей подуровней:

$$M = < M^{sl}(S_i), R^T >, \quad (9)$$

где $M^{sl}(S_i)$ – модель подуровня (sublevel), порождаемого подсистемой $S_i$; $R^T \in M^{sl}$ – древовидное отношение.

Формирование иерархии моделей интегрированной системы осуществляется с помощью стандартных оснований декомпозиции. На любом уровне иерархии выделяются подсистемы и взаимосвязи между ними. Формально модель подсистемы можно описать следующим образом:

$$M^S(S_i) = < C(S_i), \{V_j(S_i)\} >, \quad (10)$$

где $C(S_i)$ – описание класса подсистемы $S_i$; $\{V_j(S_i)\}$ – множество экземпляров (вариантов) подсистем $S_i$.

# 5. Математическое описание динамики взаимодействия в нестационарной среде

Проблема выбора решения при интерпретации данных в интегрированной ИС состоит в реализации последовательности операций анализа иерархической структуры. Выделенные в этой структуре элементарные подзадачи анализируются в процессе разработки базы знаний ИС. В качестве одного из эффективных методов анализа динамики судна как нелинейной нестационарной системы используется уравнение Фок-

кера – Планка – Колмогорова (уравнение ФПК) [3], [7]. Исходной математической моделью для построения решения уравнения ФПК служит нелинейное дифференциальное уравнение, описывающее движение судна при бортовой качке

$$\ddot{\theta} + 2\nu\dot{\theta} + \omega_\theta{}^2\theta\,\Phi(\theta) + f(\theta)\nu(t) = q(t), \tag{11}$$

где $\Phi(\theta), f(\theta)$ – нелинейные функции, $\nu(t)$, $q(t)$ – случайные функции.

Поиск решения уравнения (11) ведется в виде распределения неизвестного выходного процесса качки θ(t) в нестационарной постановке. При этом плотность вероятности выходного случайного процесса θ(t) представляется в виде

$$P(\theta,t) = \left(b_0 + b_1(\theta - <\theta>)^2 + \ldots\right)\left(1/\sigma_0(t)\sqrt{2\pi}\right)\times\exp\left(-(\theta - <\theta>)^2/2\sigma_0^2(t)\right) =$$
$$= \left(b_0 + b_1(\theta - <\theta>)^2 + b_2(\theta - <\theta>)^4 + \ldots\right)P_0 = B_r P_0\,, \tag{12}$$

где $r$ – порядок приближения; $<\theta>$ – математическое ожидание; $b_0, b_1, \ldots \sigma_0^2, \theta$ – неизвестные величины (нечетные степени отсутствуют вследствие симметрии выходного распределения).

Выражение (12) показывает, как с ростом числа членов ряда деформируется нормальный закон распределения, который рассматривается в качестве первого приближения ($b_1 = 0$, $b_2 = 0$, …). Для получения нестационарного решения и приближений высокого порядка используется теория Марковских случайных процессов. Для этого к уравнению (11) добавляется уравнение второго порядка, которое через «белый шум» формирует случайный процесс. В результате получается система дифференциальных уравнений

$$\begin{gathered}\ddot{\theta} + 2\nu\dot{\theta} + \omega_\theta{}^2\theta\,\Phi(\theta) + f(\theta)\nu(t) = q(t),\\ \ddot{q} + 2\nu_q\dot{q} + \omega_q^2 q = \xi(t),\end{gathered} \tag{13}$$

в которой $\nu_q$ – коэффициент затухания фильтрующей системы, $\omega_q$ – преобладающая круговая частота воздействия, а $\xi$ – «белый шум».

Далее осуществляется переход к системе дифференциальных уравнений первого порядка. Используя подстановку $\theta = u_1$, $\dot{\theta} = u_2$, $q = u_3$, $\dot{q} = u_4$, получаем

$$\begin{gathered}\dot{u}_1 - u_2 = 0, u_2 - u_3 + 2\theta u_2 + \omega_0^2 u_1\Phi(u_1) + f(u_1)\nu(t) = 0,\\ \dot{u}_3 - u_4 = 0, \dot{u}_4 + 2\nu_q u_4 + \lambda^2 u_3 = \xi(t).\end{gathered} \tag{14}$$

Согласно теории марковских процессов для системы дифференциальных уравнений первого порядка $u_j + f_j(u_1, \ldots, u_m) = \xi_j(t)$ $(j = 1, \ldots, m)$ уравнение ФПК запишется следующим образом

$$\partial \mathrm{P}/\partial t = -\sum_{j=1}^{m}\frac{\partial}{\partial u_j}(f_j P) + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} S_{jk}\,\frac{\partial^2 P}{\partial u_j \partial u_k}. \tag{15}$$

Для системы (14) это уравнение принимает вид

$$\partial P/\partial t = \partial(-u_2 P)/\partial u_1 + \partial\left[\left(-u_3 + 2\nu_\theta u_2 + \omega_\theta^2 u_1\Phi(u_1) + f(u_1)\nu(t)\right)P\right]/\partial u_2 +$$
$$+ \partial(-u_4 P)/\partial u_3 + \partial\left[\left(2\varepsilon u_4 + \lambda^2 u_3\right)P\right]/\partial u_4 + \tfrac{1}{2} S\,\partial^2 P/\left(\partial u_4^2\right). \tag{16}$$

Возвращаясь к исходным фазовым переменным, можно записать

$$\partial P/\partial t = -\partial\left(\dot{\theta}P\right)/\partial\theta + \partial\left[\left(-q + 2\nu_\theta\dot{\theta} + \omega_\theta^2\theta\Phi(\theta) + f(\theta)\nu(t)\right)P\right]/\partial\dot{\theta} +$$
$$+ \partial\left(\dot{q}P\right)/\partial q + \partial\left[\left(2\varepsilon\dot{q} + \lambda^2 q\right)P\right]/\partial\dot{q} + \tfrac{1}{2} S\,\partial^2 P/\left(\partial\dot{q}^2\right). \tag{17}$$

Искомой в этом уравнении является многомерная плотность вероятности $P(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}, t)$, которая описывается соотношением

$$P\left(\theta,\dot{\theta},q,\dot{q},t\right)=\left[\left(b_0+b_1\left(\theta-<\theta>\right)^2+\ldots\right)/2\pi\sqrt{|K|}\,\right]\exp\left(K^*/|K|\right). \quad (18)$$

Здесь использованы следующие обозначения:

– Значения $K$ и $K^*$

$$K=\begin{vmatrix} \sigma_0^2 & \langle\theta\dot{\theta}\rangle & \langle\theta q\rangle & \langle\theta\dot{q}\rangle \\ \langle\theta\dot{\theta}\rangle & \langle\dot{\theta}^2\rangle & \langle\dot{\theta} q\rangle & \langle\dot{\theta}\dot{q}\rangle \\ \langle q\theta\rangle & \langle q\dot{\theta}\rangle & \langle\theta^2\rangle & \langle q\dot{q}\rangle \\ \langle\dot{q}\theta\rangle & \langle\dot{q}\dot{\theta}\rangle & \langle\dot{q} q\rangle & \langle\dot{q}^2\rangle \end{vmatrix}; \quad (19)$$

$$K^*=\begin{vmatrix} \sigma_0^2 & \langle\theta\dot{\theta}\rangle & \langle\theta q\rangle & \langle\theta\dot{q}\rangle & \theta-\langle\theta\rangle \\ \langle\theta\dot{\theta}\rangle & \langle\dot{\theta}^2\rangle & \langle\dot{\theta} q\rangle & \langle\dot{\theta}\dot{q}\rangle & \dot{\theta}-\langle\dot{\theta}\rangle \\ \langle q\theta\rangle & \langle q\dot{\theta}\rangle & \langle\theta^2\rangle & \langle q\dot{q}\rangle & q-\langle q\rangle \\ \langle\dot{q}\theta\rangle & \langle\dot{q}\dot{\theta}\rangle & \langle\dot{q} q\rangle & \langle\dot{q}^2\rangle & \dot{q}-\langle\dot{q}\rangle \\ \theta-\langle\theta\rangle & \dot{\theta}-\langle\dot{\theta}\rangle & q-\langle q\rangle & \dot{q}-\langle\dot{q}\rangle & 0 \end{vmatrix}. \quad (20)$$

– Дисперсии процессов

$$\sigma_0^2, <\dot{\theta}^2>, <q^2>, <\dot{q}^2>. \quad (21)$$

– Математические ожидания процессов

$$<\theta>, <\dot{\theta}^2>, <q^2>, <\dot{q}^2>. \quad (22)$$

– Взаимные корреляционные моменты процессов

$$<\theta\,\dot{\theta}>, <\theta\, q>, <q\,\dot{q}>. \quad (23)$$

**Шаг 1.** **Постулируется исходная математическая модель, описывающая поведение судна в рассматриваемой ситуации. Эта модель содержит m+1 фазовых переменных, которые предполагаются независимыми.**

**Шаг 2.** **Исходя из физических особенностей, фазовые переменные делят на три группы: неизвестные, известные и время. Полученную классификацию учитывают при составлении разрешающих уравнений.**

**Шаг 3.** **Осуществляется решение задачи относительно корреляционных моментов заданного порядка. Решение ограничивается нахождением корреляционных моментов второго порядка.**

**Шаг 4.** **Для реализации шага 3 составляется и анализируется первая группа уравнений. Такие уравнения получаются путем умножения исходного уравнения на одну фазовую переменную и последующего его интегрирования. При этом полученное выражение будет содержать математические ожидания, которые не войдут в разрешающую систему уравнений.**

**Шаг 5.** **Анализируется группа уравнений относительно корреляционных моментов порядка, принятого на шаге 3. Для этого составляется и интегрируется вторая группа уравнений путем умножения исходного на соответствующее произведение фазовых переменных. Общее число двух групп уравнений равно числу неизвестных моментов.**

**Шаг 6.** **В случае отыскания приближений более высокого порядка появляются дополнительные неизвестные ряда разложений $b_0$, $b_1$, $b_2$,… Это требует составления третьей группы уравнений на основе различных подходов (вариационный принцип максимума, энтропии состояния и др.).**

Рисунок 4 – Алгоритм реализации уравнения ФПК

Математические ожидания, дисперсии и корреляционные моменты $b_o$, $b_1$, $b_2$, … являются неизвестными. Для их определения необходимо найти неизвестные моменты фазовых переменных, входящих в выражение (18). Применяя метод моментов, умножим поочередно уравнение ФПК на фазовые переменные и их возможные произведения по два и проведем интегрирование по всем фазовым переменным. В результате получаем столько же уравнений, сколько неизвестных моментов.

При практической реализации рассмотренных теоретических зависимостей сначала формулируется и исследуется задача построения стационарного решения первого приближения. И только после этого переходят к анализу нестационарного решения, отражающего более строгую постановку задачи. Алгоритм решения задачи моделирования динамики судна методом ФПК в нестационарной постановке приведен на рис. 4.

# 6. Интерфейс оператора интегрированной ИС

При реализации интерфейса оператора интегрированной ИС предусмотрены следующие варианты решения: анализ и прогноз ситуации; визуализация динамики взаимодействия; оперативное управление (рис. 5).

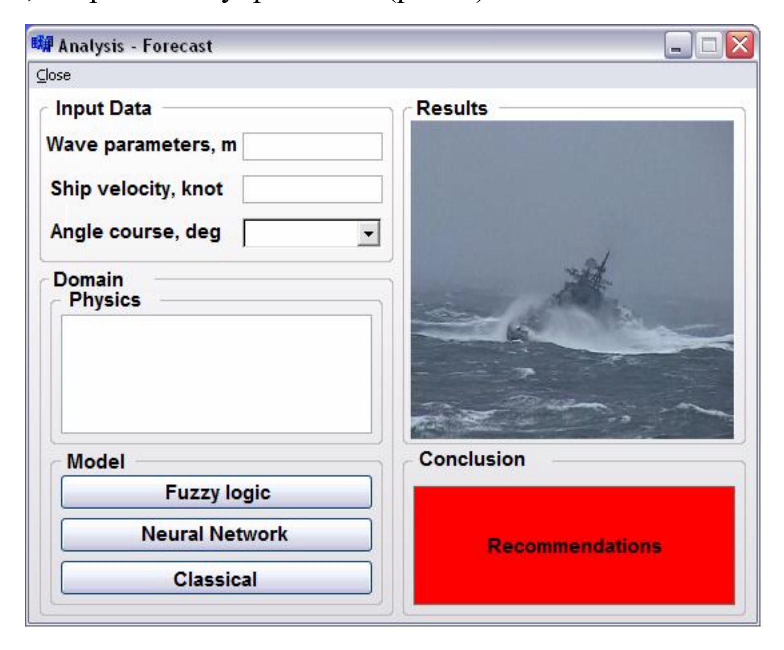



Рисунок 5 – Графическое окно «Анализ и прогноз ситуации»: в окне «Results» показана картина динамики судна в экстремальной ситуации

Графическое окно интерфейса «Анализ и прогноз ситуации» **Analysis – Forecast** (рис. 4) содержит три области: область исходных данных – **Input Data**, область дерева модели – **Domain** и окно просмотра – **Results**. Область исходных данных содержит обработанные данные оценки опасности ситуации и прогноза ее развития. Область дерева модели включает следующие элементы: **Physics** – задание условий задачи, **Model** – выбор модели (классическая, нечеткая, нейросетевая); **Simulation** – работа с моделью. Окно просмотра **Results** содержит результаты анализа (выбор предпочтительной вычислительной технологии) с указанием соответствующей кривой изменения рассматриваемой характеристики остойчивости и выводы **Conclusion** (практические рекомендации по выбору скорости судна).

Надежность работы оператора интегрированной ИС приближенно оценивается по формуле:

$$P=\prod_{i=1}^{m}P^{ki}=\exp\left[-\sum_{i=1}^{m}(1-P_i)^{ki}\right]=\exp\left[\sum_{i=1}^{m}Q_iT_ik_i\right], \quad (24)$$

где $P_i$ – вероятность безошибочного выполнения операции i-го типа; $Q_i$ – интенсивность ошибок i-го типа; $k_i$ – число выполненных операций i-го типа; $m$ – общее число различных типов операций.

Показатели $P_i$ и $Q_i$ определяются по статистическим оценкам, полученным в процессе тестирования ИС:

$$P_i^*=\frac{1}{N_i}(N_i-n_i),\quad Q_i^*=\frac{n_i}{N_iT_i}, \quad (25)$$

где $N_i$ – общее число выполняемых операций i-го типа; $n_i$ – число ошибок, допущенных оператором при выполнении операции i-го типа; $T_i$ – среднее время выполнения операции $i$-го типа.

# Заключение

Разработанный подход и концепция создания бортовой интегрированной ИС анализа и прогноза поведения судна на волнении в нестандартных (нештатных и экстремальных) ситуациях позволяет сделать следующие выводы:

1. Сформулированы базовые принципы функционирования ИС как нестационарной динамической системы в условиях непрерывного изменения динамики судна и внешней среды.

2. Разработана динамическая модель знаний, обеспечивающая анализ и прогноз динамических ситуаций с учетом неопределенности и неполноты исходной информации.

3. Построены эффективные механизмы и стратегии принятия решений на основе принципа конкуренции, позволяющего на базе анализа альтернатив выбирать предпочтительную вычислительную технологию с использованием методов классической математики, нечетких и нейросетевых моделей.

Используемый в ИС аппарат знаний позволяет учесть особенности формализации динамики судна как нестационарной физической системы. При этом использованы механизмы преобразования информации при прохождении нестационарных процессов через физическую систему, учитывающие соотношения между входом и выходом системы. Используемые статистические характеристики нестационарных процессов установлены на основе математического моделирования поведения исследуемого ДО с помощью уравнения ФПК. Среди этих характеристик, изменяющихся в различные моменты времени, следует выделить нестационарную плотность распределения, нестационарную автокорреляционную функцию и нестационарную спектральную плотность [2].

# Литература

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / [Аверкин А.Н., Батыршин А.Н., Блишун А.Ф. и др.] ; под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Наука, 1986.
2. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1974. – 464 с.
3. Блакьер О. Анализ нелинейных систем / Блакьер О. – М. : Мир, 1969. – 400 с.

4. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1979. – 488 с.
5. Геращенко Е.И. Метод разделения движений и оптимизация нелинейных систем / Е.И. Геращенко, С.М. Геращенко. – М. : Наука, 1975. – 296 с.
6. Востриков А.С. Проблема синтеза алгоритмов автоматического управления нелинейными нестационарными объектами / А.С. Востриков // Доклады 2-й Российской мультиконференции по проблемам управления и 5-й научной конференции «Управление и информационные технологии УИТ – 2008». – Санкт-Петербург, 2008. – Т. 1. – С. 56-61.
7. Нечаев Ю.И. Анализ нестационарных нерегулярных колебаний судна с использованием уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова / Ю.И. Нечаев, М.Н. Мальцева // Сборник докладов научно-технической конференции «Крыловские чтения». – Л. : Судостроение, 1989. – С. 12-18.
8. Нечаев Ю.И. Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени / Нечаев Ю.И. // Лекции по нейроинформатике. Часть 2 : тр. 5-й Всероссийской конференции «Нейроинформатика – 2003». – М. : МИФИ, 2003. – С. 119-179.
9. Нечаев Ю.И. Концептуальные основы создания бортовых интеллектуальных систем / Ю.И. Нечаев // Информационно-измерительные и управляющие системы. Часть. 2. Корабельные системы. – 2006. – № 9. – С. 39-49.
10. Нечаев Ю.И. Нейросетевое моделирование динамики сложного объекта / Ю.И. Нечаев // Сборник научных трудов 9-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика – 2007». – М. : МИФИ, 2007. – Ч. 1. – С. 57-63.
11. Bauer R. Zeitdiskrete approximative state linearization / R. Bauer, N. Dourdoumas // Automatisierungstechnik. – Munchen : Oldenburg Verlag, 2007. – S. 1-9.
12. Nechaev Yu.I. Probability-asymptotic methods in ship dynamic problem / Yu.I. Nechaev, S.A. Dubovik // Proceedings of 15th international conference on hydrodynamics in ship design, safety and operation. – Gdansk (Poland), 2003. – P. 187-199.
13. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing / L. Zadeh // Commutation on the ASM-1994. – Vol. 37, № 3. – P. 77-84.

***Ю.І. Нечаєв, О.М. Петров***

**Принципи побудови бортової інтелектуальної системи контролю поведінки судна на хвилюванні як нестаціонарного динамічного об’єкта**

Розглядається підхід до побудови інтелектуальної системи контролю динаміки нестаціонарного об’єкта. Синтез системи здійснено на основі принципів організації складних систем. Алгоритм контролю ситуації і вироблення керуючих рішень побудовано з використанням структурованої бази знань і методів математичного моделювання в мультипроцесорному обчислювальному середовищі.

***Yu.I. Nechaev, O.N. Petrov***

**Principles of Design of the Onboard Intellectual System of Ship Behavior Control under Roughness as Dynamic Non_stationary object**

The approach to design of the control of dynamics of non-stationary object is considered. The synthesis of system is carried out on the basis of organization principles of complex systems. The algorithm of the control of a situation and development of the managing decisions is constructed with use of the structured of knowledge base and mathematical modeling methods on multiprocessor computing technology.

*Статья поступила в редакцию 25.05.2009.*